

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS  
NATIONAL BOARD OF PATENTS AND REGISTRATION

Helsinki 28.6.2002



ETUOIKEUSTODISTUS  
PRIORITY DOCUMENT



Hakija Applicant	Nokia Networks Oy Helsinki
Patenttihakemus nro Patent application no	20002845
Tekemispäivä Filing date	22.12.2000
Kansainvälinen luokka International class	H04L
Keksinnön nimitys Title of invention	

"Digitaalisen signaalin lähettäminen"

Hakemus on hakemusdiaariin 13.02.2002 tehdyn merkinnän mukaan siirtynyt **Nokia Corporation** nimiselle yhtiölle, kotipaikka Helsinki.

The application has according to an entry made in the register of patent applications on 13.02.2002 been assigned to **Nokia Corporation**, Helsinki.

Täten todistetaan, että oheiset asiakirjat ovat tarkkoja jäljennöksiä Patentti- ja rekisterihallitukselle alkuaan annetuista selityksestä, patenttivaatimuksista, tiivistelmästä ja piirustuksista.

This is to certify that the annexed documents are true copies of the description, claims, abstract and drawings originally filed with the Finnish Patent Office.

*Eija Solja*  
Eija Solja  
Apulaistarkastaja

**CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT**

Maksu 50 €  
Fee 50 EUR

Maksu perustuu kauppa- ja teollisuusministeriön antamaan asetukseen 1027/2001 Patentti- ja rekisterihallituksen maksullisista suoritteista muutoksineen.

The fee is based on the Decree with amendments of the Ministry of Trade and Industry No. 1027/2001 concerning the chargeable services of the National Board of Patents and Registration of Finland.

Osoite:	Arkadiankatu 6 A	Puhelin:	09 6939 500	Telefax:	09 6939 5328
	P.O. Box 1160	Telephone:	+ 358 9 6939 500	Telefax:	+ 358 9 6939 5328

## Digitaalisen signaalin lähettäminen

### Keksinnön ala

Keksinnön soveltamisala on digitaalisen signaalin lähetys, erityisesti keksintö kohdistuu signaalin lohkokoodaukseen useamman kuin yhden antennin kautta tapahtuvaa lähetystä varten.

### Keksinnön tausta

Tietoliikenneyhteyksissä signaalien välittämiseen käytetty siirtotie aiheuttaa tunnetusti häiriöitä tietoliikenteelle. Tätä tapahtuu riippumatta siirtotien fyysisestä muodosta, olipa siirtotie esimerkiksi radioyhteys, valokuitu tai kuparikaapeli. Erityisesti radiotietoliikenteessä esiintyy usein tilanteita, joissa siirtotien laatu vaihtelee yhteyskerrasta toiseen ja myös yhteyden aikana. Radiotien häipymisilmiöt ovat eräs tyypillinen ilmiö, joka aiheuttaa muutoksia siirtokanavassa. Myös muut samanaikaiset yhteydet saattavat aiheuttaa häiriöitä ja nämä voivat vaihdella ajan ja paikan funktiona. Tyypillisessä radiotietoliikennenympäristössä lähettimen ja vastaanottimen väliset signaalit etenevät useaa reittiä. Tämä monitie-eteneminen (multipath propagation) aiheutuu pääosin signaalin heijastumisista ympäröivistä pinnoista. Eri reittejä kulkeneet signaalit saapuvat vastaanottoon eri aikoina erilaisen kuluaikaviiveen takia. Monitie-etenemisen aiheuttaman häipymän kompensoimiseen on kehitetty erilaisia menetelmiä.

Eräs tehokkaimmista tavoista radiotiellä esiintyvän häipymän kompensoimiseksi on lähettimen lähetystehon säätö. Jos radiotien ominaisuudet tunnetaan, voidaan lähettimen tehoa säätää siten, että häipymän vaikutus voidaan kumota. Käytännössä tällainen ratkaisu on kuitenkin perin vaikea toteuttaa, koska ensiksikin lähettimen tulisi tietää kanavan laatu, ja tämä tiedon välitys lähettimelle reaaliaikaisesti on hankalaa. Toiseksi lähettimille asetetut lähetystehon rajat sekä lähettimien dynaaminen alue asettavat omat rajoituksensa. Lisäksi tehonsäätö itsessään voi johtaa tehottomaan lähetykseen kasvattamalla tehon suureksi häipymäkuopissa. Toinen ratkaisu ongelmaan on diversiteetin käyttö lähettimessä. Aikadiversiteetissä käytetään lomittelua ja koodausta, jolla aikaansaadaan ajallista diversiteettiä lähetettävään signaaliin. Tällä on kuitenkin se haittapuoli, että lähetykseen tulee viiveitä, varsinkin, kun kanava on hitaasti häipyvä. Taajuusdiversiteetissä puolestaan signaali lähetetään usealla taajuudella samanaikaisesti. Tämä on kuitenkin tehoton menetelmä silloin, kun kanavan koherenssikaistanleveys on suuri.

Lähetysantennidiversiteetissä lähetetään sama signaali tai saman signaalin eri osat vastaanottimelle kahta tai useampaa eri antennia käyttäen. Tällöin eri kanavien läpi monitie-edenneet signaalikomponentit eivät todennäköisesti tule samanaikaisen häipymän häiritsemiksi. Julkaisussa WO 99/14871 on esitetty erityisesti kahden antennin tapaukseen soveltuva diversiteettinetelmä, jossa koodataan lähetettävät biteistä koostuvat symbolit annetun mittaisissa lohkoissa, ja jossa kukin lohko koodataan annetuksi määräksi kanavasymboleja kaavan (1) mukaisesti.

$$C_{Ala} \rightarrow \begin{pmatrix} z_1 & z_2 \\ -z_2^* & z_1^* \end{pmatrix} \quad (1)$$

Kaavassa matriisin vaakarivit kuvaavat lähetysajanhetkiä siten, että ylempi vaakarivi kuvaa ajanhetkellä  $t$  lähetettävää informaatiota ja alempi vaakarivi ajanhetkellä  $t+T$  lähetettävää informaatiota, jossa  $T$  tarkoittaa symbolijaksoa. Matriisin pystyrit puolestaan kuvaavat antennia siten, että ensimmäinen pystyri kuvaa antennin 1 kautta lähetettävää informaatiota ja toinen pystyri antennin 2 kautta lähetettävää informaatiota. Kaavassa (1) esitetyn kaltainen kompleksisen modulaation lohkokoodi on olemassa kuitenkin vain korkeintaan kahdelle antennille. Useammalle kuin kahdelle antennille lähetettävä maksimaalinen tiedonsiirtonopeus eli koodaussuhde (rate) lasketaan kaavan (2) mukaisesti, missä  $N$  on lähetysantennien lukumäärä, ja hakasulkeet tarkoittavat pienintä kokonaislukua, joka on suurempi tai yhtä suuri kuin sulkeissa oleva lauseke. On huomattava, että tässä koodaussuhteella tarkoitetaan symbolikoodaussuhdetta, eli symbolijakson  $T$  aikana lähetettävien symbolien lukumäärää. Kolmelle ja neljälle antennille maksimaalinen koodaussuhde ortogonaaliselle koodille onkin  $3/4$ .

$$\text{Rate} = \frac{[\log_2 N] + 1}{2^{[\log_2 N]}} \quad (2)$$

Julkaisussa Tirkkonen, Boariu, Hottinen IEEE 6<sup>th</sup> Symposium on Spread-Spectrum Tech. & Appl., NJIT, New Jersey, USA Sept. 2000 on esitetty eräitä täyden koodaussuhteen 1 ratkaisuja. Julkaisussa esitetään koodausmenetelmä, jossa kaavan (1) mukaista ortogonaalista Alamoutin matriisia

hyväksikäyttäen on muodostettu neljän antennin kaavan (3) mukainen epäortogonaalinen lohkokoodi.

$$(z_1, z_2, z_3, z_4) \rightarrow \begin{pmatrix} z_1 & z_2 & z_3 & z_4 \\ -z_2^* & z_1^* & -z_4^* & z_3^* \\ z_3 & z_4 & z_1 & z_2 \\ -z_4^* & z_3^* & -z_2^* & z_1^* \end{pmatrix} \quad (3)$$

5

Matriisi on esitystavan (4) mukaisesti muotoa ABBA, jossa A matriisi noudattelee Alamoutin matriisia symboleille  $z_1$  ja  $z_2$ , kun taas B noudattelee Alamoutin matriisia symboleille  $z_3$  ja  $z_4$ .

10

$$\begin{pmatrix} A & B \\ B & A \end{pmatrix} \quad (4)$$

15

Tunnettuihin epäortogonaalisiin lohkokodeihin sisältyy kuitenkin merkittävä haitta. Mainituilla lohkokodeilla ei ole täysi diversiteetti eli itsenäisesti dekodattavien kanavien lukumäärä on pienempi kuin antennien lukumäärä, jolloin menetetään antennien tarjoamaa lähetyskapasiteettia. Lohkokoodin diversiteetti on matriisien (5) pienin nollasta poikkeavien ominaisarvojen lukumäärä.

20

$$H_{ce} = D_{ce}^H D_{ce} \quad (5)$$

, jossa  $D_{ce}$  määritellään kaavalla (6).

$$D_{ce} = C_c - C_e \quad (6)$$

25

Edellisessä  $C_c$  on jokin lähetetty koodimatriisi ja  $C_e$  on jokin virheelinen detektoitu koodimatriisi. Jos esimerkiksi ajatellaan kanavasymboliparia, jossa tehdään sama virhe  $\Delta$  symboleille  $z_1$  ja  $z_3$  ja ei lainkaan virhettä symboleille  $z_2$  ja  $z_4$ , erotusmatriisiksi  $D_{ce}$  saadaan kaavan (7) mukainen matriisi.

$$D_{ce} = \begin{pmatrix} \Delta & 0 & \Delta & 0 \\ 0 & \Delta^* & 0 & \Delta^* \\ \Delta & 0 & \Delta & 0 \\ 0 & \Delta^* & 0 & \Delta^* \end{pmatrix} \quad (7)$$

- 5 Kaavan (7) mukainen matriisi on singulaarinen eli matriisilla ei ole olemassa käänteismatriisia (inverse matrix). Matriisilla on vain kaksi nollasta poikkeavaa ominaisarvoa (eigenvalue),  $2\Delta$  ja  $2\Delta^*$ . Näinollen kaavan (3) mukaisen ABBA-lohkokoodin diversiteettiaste on vain 2. Matala diversiteetti alkaa näkyä koodauksen suorituskvyyssä heikkenevänä bittivirhesuhteena bittienergian suhteen häiriötasoon ylittäessä 5 dB.

### Keksinnön lyhyt selostus

- 10 Keksinnön tavoitteena on siten toteuttaa menetelmä ja menetelmän toteuttava laitteisto siten, että koodauksella saavutetaan täysi diversiteetti kahden tai useamman lähetyssantennin tapauksessa. Tämä saavutetaan menetelmällä digitaalisten symbolien lähettämiseksi, jossa menetelmässä luetaan lähettimessä ainakin kaksi samaan lähetysslohkoon kuuluvaa symbolia. Menetelmässä muodostetaan lähetysslohkoon kuuluvista symboleista kanavasymboleita käsittävä lohkokoodi suorittamalla kullekin symbolille ainakin yksi seuraavista operaatioista: toistaminen, konjugointi, painokertoimella kertominen, kahden tai useamman symbolin yhteenlasku, ja että kerrotaan ainakin yksi lähetysslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla ensimmäisellä painokertoimella ja ainakin yksi lähetysslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla toisella painokertoimella, ja että ensimmäisen painokertoimen ja toisen painokertoimen jakosuhde poikkeaa arvoista  $\pm 1$  ja  $\pm j$ , ja lähetetään muodostetut kanavasymbolit kahden tai useamman lähetyssantennireitin kautta.

- 25 Keksinnön kohteena on myös järjestely digitaalisten symbolien lähettämiseksi, käsittäen kooderin digitaalisten symbolien koodaamiseksi kanavasymboleiksi, ja kooderiin yhteydessä olevan yhden tai useamman lähetyssantennin kanavasymbolien lähettämiseksi. Kooderi on sovitettu lukemaan ainakin kaksi samaan lähetysslohkoon kuuluvaa symbolia, ja muodostamaan koodauksen määrittelevän lohkokoodin avulla lähetysslohkoon kuuluvista symboleista kanavasymboleita suorittamalla kullekin symbolille ainakin yksi seuraavista operaatioista: toistaminen, konjugointi, painokertoimella kertominen, kahden tai useamman symbolin yhteenlasku, ja että kooderi on sovitettu kertomaan ainakin yksi lähetysslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla en-

simmaisella painokertoimella ja ainakin yksi lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla toisella painokertoimella, joiden mainitun ensimmäisen painokertoimen ja mainitun toisen painokertoimen jakosuhte poikkeaa arvoista  $\pm 1$  ja  $\pm j$ , ja joka järjestely on sovitettu lähettämään muodostetut kanavasymbolit mainitun yhden tai useamman antennin avulla muodostetun kahden tai useamman lähetysantennireitin kautta.

Keksinnön edulliset suoritusmuodot ovat epäitsenäisten patenttivaatimusten kohteena.

Keksinnön kohteena on siis menetelmä ja laitteisto aika-avaruus (space-time) lohkokoodauksen tekemiseksi radiolähettimessä. Lohkokoodauksessa luetaan tietty määrä symboleita, jotka koodataan kanavasymboleiksi lähetettäväksi eri ajanhetkinä ja ainakin kahden lähetysantennin kautta. Keksinnön kannalta ei ole keskeistä, kuinka monen vastaanottoantennin kautta lähetysten vastaanotto tapahtuu. Keksinnöllinen ratkaisu perustuu siihen, että lähetyslohkossa on ainakin kaksi symbolia, jotka kerrotaan nollasta poikkeavilla painokertoimilla siten, että kertoimien jakosuhte poikkeaa arvoista  $\pm 1$  ja  $\pm j$ .

Keksinnön mukainen koodimatriisi täyttää vaatimuksen maksimaalisesta symbolikohtaista diversiteetistä. Tällä tarkoitetaan sitä, että mikäli koodimatriisista poistettaisiin kaikki muut symbolit paitsi yksi symboli, on koodimatriisi kyseisen jäljellejäävän symbolin osalta unitaarinen (unitary). Edellämainittu ehto pätee kaikille koodimatriisin symboleille. Tällöin koodimatriisin  $C$  symbolikohtaiselle koodimatriisille  $C_k$  pätee yhtälö (8). Symbolikohtaisella koodimatriisilla  $C_k$  tarkoitetaan tässä koodimatriisia, josta on muut symbolit kuin  $z_k$  korvattu nolllilla.

$$C_k^H C_k \approx |z_k|^2 I_N \quad (8)$$

Yhtälössä (8)  $C^H$  on matriisin  $C$  Hermiittiskonjugaatti (Hermite conjugate) eli kompleksikonjugaatin transpoosi,  $|z|$  on  $z$ :n itseisarvo ja  $I_N$  on  $N$ -dimensioinen yksikkömatriisi (identity matrix). Jos  $M=N$ , yksinkertaisin tapa todeta symbolikohtainen unitaarisuus on muodostaa symbolikohtainen matriisi  $C_k$ , jolloin täsmälleen yksi symboli kullakin vaaka- ja pystyrivillä on  $z_k$  tai sen kompleksikonjugaatti muiden elementtien ollessa nolllia.

Yleinen koodimatriisi, joka täyttää symbolikohtaisen täyden diversiteetin voidaan muodostaa seuraavasti. Jokaiselle symbolille  $z_k$  valitaan ko-

konaisluku  $n_k$  väliltä  $1 \leq n_k \leq N$ , jossa  $N$  on lähetysantennien lukumäärä. Muodostetaan  $N \times N$  matriisi, jossa  $n_k$   $z_k$ :ta ja  $N - n_k$   $z_k^*$ :a ovat matriisin diagonaalilla. Jos viive  $M$  on suurempi kuin  $N$ , lisätään matriisiin  $(M - N) \times N$  nollamatriisi. Kutsutaan saatua matriisia  $\gamma_k$ :ksi ja muodostetaan yleinen  $C_k$  yhtälön (9) mukaan.

5

$$C_k = U_k \gamma_k V_k \quad (9)$$

Yleinen koodimatriisi  $C$ , joka täyttää symbolikohtaisen täyden diversiteetin on kaavassa (10) esitettyä muotoa

10

$$C = \sum_{k=1}^K C_k = \sum_{k=1}^K U_k \gamma_k V_k \quad (10)$$

, jossa  $U_k$  on unitaarinen  $M \times M$  matriisi ja  $V_k$  on unitaarinen  $N \times N$  matriisi. Keksinnöllisessä ratkaisussa matriiseissa  $U_k$ ,  $V_k$  on ainakin yksi elementti joka ei kuulu arvojoukkoon  $\{0, \pm 1, \pm j\}$ .

15

Edullisesti keksinnön mukaiselta koodimatriisilta vaaditaan, että koodimatriisin Hermiittisen neliön avulla muodostettu epäortogonaalisuusmatriisi (non-orthogonality matrix) on jäljetön (traceless). Muussa tapauksessa joihinkin symboleihin koodatut bitit olisivat epähomogeenisesti koodattuja - saattaisi esimerkiksi olla todennäköisempää tehdä ilmaisussa virhe jos lähetetään bitti 0 kuin jos lähetetään bitti 1. Edullisesti koodimatriisilta edellytetään myös symbolitason homogeenisuutta, eli että kaikki symbolit ovat koodimatriisissa keskenään samanarvoisessa asemassa.

20

Keksinnön eräässä edullisessa suoritusmuodossa lohkokoodin kaikki symbolit on muodostettu samalla modulointipisteistöllä mutta ainakin yhden symbolin osalta modulointipisteistö on vaihekierretty suhteessa lohkon muihin symboleihin. Esimerkiksi QPSK-symboleilla yhtälön (3) muotoisissa koodeissa vaihekierto on edullisesti 25 asteen ja 65 asteen välillä. Keksinnön toisessa edullisessa suoritusmuodoissa kaksi tai useampia symboleita lasketaan yhteen lohkokoodausmatriisin kanavasymbolia muodostettaessa. Eräässä edullisessa suoritusmuodossa yksi symboli kerrotaan painokertoimella ja lasketaan tämän jälkeen yhden tai useamman lohkon muun symbolin kanssa kanavasymbolin muodostamiseksi.

25

30

Edullisesti ainakin kaksi lähetyslohkoon kuuluvaa symbolia on koodattu keskenään ortogonaalisesti, vaikkakin kokonaisuutena keksinnön mu-

35

kainen lohkokoodi on epäortogonaalinen. Esimerkiksi neljän symbolin lohkon tapauksessa, eräs edullinen suoritusmuoto on esimerkiksi epäortogonaalinen 2+2 matriisi, jossa kaksi symbolia on koodattu keskenään ortogonaalisesti ja vastaavasti jäljelle jäävät toiset kaksi symbolia ovat keskenään ortogonaalisesti koodatut. Toinen edullinen suoritusmuoto on 3+1 muotoa oleva lohkokoodi, jossa kolme symbolia on keskenään ortogonaalisesti koodatut. Keksintö ei rajoittunut siihen, onko lohkomatriisi tehotasapainotettu vai ei.

Keksinnöllä saavutetaan merkittäviä etuja. Koodimatriisin koodaus-suhde saadaan korkeammaksi kuin ortogonaalisuuden sallima koodaussuhde, ja painottamalla yhtä tai useampaa symbolia kompleksisella painokertoimella keksinnön avulla voidaan esittää koodimatriisi, jolla saavutetaan täysi diversiteetti. Keksinnön mukaisella ratkaisulla saavutetaan merkittäviä etuja bittivirhe-suhteen tasossa (BER, bit error rate) tunnetun tekniikan mukaiseen ratkaisuun verrattuna, erityisesti korkeilla signaali-kohinasuhteen (SNR, Signal to Noise Ratio) tasoilla.

### Kuvioiden lyhyt selostus

Keksintöä selostetaan nyt lähemmin edullisten suoritusmuotojen yhteydessä, viitaten oheisiin piirroksiin, joissa

kuvio 1 esittää esimerkkiä keksinnön erään toteutusmuodon mukaisesta järjestelmästä,

kuvio 2 esittää toista esimerkkiä keksinnön erään toteutusmuodon mukaisesta järjestelmästä,

kuvio 3 havainnollistaa esimerkkiä keksinnön erään toteutusmuodon mukaisesta järjestelystä.

kuvio 4A havainnollistaa edullisia modulaation vaihetekijöitä eri determinanttikriteerien avulla,

kuvio 4B havainnollistaa symbolivirheiden neliöitä kahdella eri modulaation vaihetekijällä,

kuvio 5 kuvaa keksinnön eräillä edullisilla suoritusmuodoilla saavutettavia bittivirhetasoja signaalihäiriösuhteen funktiona .

### Edullisten suoritusmuotojen kuvaus

Keksintöä voidaan käyttää radiojärjestelmissä, joissa on mahdollista lähettää ainakin osa signaalista käyttäen kahta tai useampaa lähetysantennia tai kahden tai useamman lähetysantennin avulla aikaansaatuja kahta tai useampaa keilaa. Siirtokanava voi olla muodostettu esimerkiksi käyttäen aikaja-



koista, taajuusjakoista tai koodijakoista symbolimultipleksausta tai monikäyttömenetelmää. Myös eri monikäyttömenetelmien yhdistelmiä käyttävät järjestelmät ovat keksinnön mukaisia järjestelmiä. Esimerkeissä kuvataan keksinnön käyttöä suorasekvenssitekniikalla toteutettua laajakaistaista koodijakoista monikäyttömenetelmää käyttävässä UMTS-järjestelmässä (Universal Mobile Telephony System), keksintöä siihen kuitenkaan rajoittamatta.

Viitaten kuvioon 1 selostetaan esimerkinomaisesti matkapuhelinjärjestelmän rakennetta. Matkapuhelinjärjestelmän pääosat ovat ydinverkko (core network) CN, matkapuhelinjärjestelmän maanpäällinen radioliittymäverkko (UMTS terrestrial radio access network) UTRAN ja tilaajapäätelaitte (user equipment) UE. CN:n ja UTRAN:in välinen rajapinta on nimeltään Iu, ja UTRAN:in ja UE:n välinen ilmarajapinta on nimeltään Uu. UTRAN muodostuu radioverkkoalijärjestelmistä (radio network subsystem) RNS. RNS:ien välinen rajapinta on nimeltään Iur. RNS muodostuu radioverkkokontrollerista (radio network controller) RNC ja yhdestä tai useammasta B-solmusta (node B) B. RNC:n ja B:n välinen rajapinta on nimeltään Iub. B-solmun kuuluvuusalueita eli solua merkitään kuviossa C:llä.

Kuviossa 1 esitetty kuvaus on melko yleisellä tasolla, joten sitä selvennetään kuviossa 2 esitetyllä tarkemmalla esimerkillä solukkoradiojärjestelmästä. Kuvio 2 sisältää vain oleelliset lohkot, mutta alan ammattimiehelle on selvää, että tavanomaiseen solukkoradioverkkoon sisältyy lisäksi muitakin toimintoja ja rakenteita, joiden tarkempi selittäminen ei tässä ole tarpeen. Huomattakoon myös, että kuviossa 2 on esitetty vain eräs esimerkkirakenne. Keksinnön mukaisissa järjestelmissä saattavat yksityiskohdat poiketa kuviossa 2 esitetyistä, mutta keksinnön kannalta näillä eroilla ei ole merkitystä. Solukkoradioverkko käsittää siis tyypillisesti kiinteän verkon infrastruktuurin eli verkko-osan 200, ja tilaajapäätelaitteita 202, jotka voivat olla kiinteästi sijoitettuja, ajoneuvoon sijoitettuja tai kannettavia mukana pidettäviä päätelaitteita. Verkko-osassa 200 on tukiasemia 204. Tukiasema 204 vastaa edellisen kuvion B-solmua. Useita tukiasemia 204 keskitetysti puolestaan ohjaa niihin yhteydessä oleva radioverkkokontrolleri 206. Tukiasemassa 204 on lähetinvastaanottimia 408 ja multiplekseriyksikkö 212.

Tukiasemassa 204 on edelleen ohjausyksikkö 210, joka ohjaa lähetinvastaanottimien 208 ja multiplekserin 212 toimintaa. Multiplekserillä 212 sijoitetaan useiden lähetinvastaanottimien 208 käyttämät liikenne- ja ohjauskanavat yhdelle siirtoyhteydelle 214. Siirtoyhteys 214 muodostaa rajapinnan Iub.

Tukiaseman 204 lähetinvastaanottimista 208 on yhteys antenniyksikköön 218, jolla toteutetaan kaksisuuntainen radioyhteys 216 tilaajapäätelaitteeseen 202. Kaksisuuntaisessa radioyhteydessä 216 siirrettävien kehysten rakenne on järjestelmäkohtaisesti määritelty, ja sitä kutsutaan ilmarajapinnaksi Uu.

- 5 Radioverkkokontrolleri 206 käsittää ryhmäkytkentäkentän 220 ja ohjausyksikön 222. Ryhmäkytkentäkenttää 220 käytetään puheen ja datan kytkentään sekä yhdistämään signalointipiirejä. Tukiaseman 204 ja radioverkkokontrollerin 206 muodostamaan radioverkkoalijärjestelmään 224 kuuluu lisäksi transkooderi 226. Transkooderi 226 sijaitsee yleensä mahdollisimman lähellä
- 10 matkapuhelinkeskusta 228, koska puhe voidaan tällöin siirtokapasiteettia säästään siirtää solukkoradioverkon muodossa transkooderin 226 ja radioverkkokontrollerin 206 välillä. Transkooderi 226 muuntaa yleisen puhelinverkon ja radiopuhelinverkon välillä käytettävät erilaiset puheen digitaaliset koodausmuodot toisilleen sopiviksi, esimerkiksi kiinteän verkon muodosta solukkoradioverkon johonkin muuhun muotoon ja päinvastoin. Ohjausyksikkö 222 suorittaa puhelunohjausta, liikkuvuuden hallintaa, tilastotietojen keräystä ja signalointia. Kuviossa 2 kuvataan edelleen matkapuhelinkeskus 228 ja porttimatkapuhelinkeskus 230, joka hoitaa matkapuhelinjärjestelmän yhteydet ulkopuoliseen maailmaan, tässä yleiseen puhelinverkkoon 232.
- 15 Kuviossa 3 havainnollistetaan esimerkkiä keksinnön erään toteutusmuodon mukaisesta järjestelystä. Kuviossa kuvataan tilannetta, jossa kanavakoodatut symbolit lähetetään kolmen antennin 314-318 kautta eri aikaväleissä. Kuviossa on ensiksikin esitetty lähetin 300, joka on yhteydessä vastaanottimeen 302 radioyhteyden 320 välityksellä. Lähetin 300 käsittää modulaattorin 304, johon luetaan sisääntulona lähetettävä signaali 306, joka keksinnön edullisen toteutusmuodon mukaisessa ratkaisussa koostuu biteistä. Keksinnön kannalta ei ole merkityksellistä, mitä nämä bitit ovat, ne voivat tulla lähdekoodaajasta esimerkiksi kanavakoodaajan ja/tai bittilomittelijan kautta. Modulaattorissa 304 bitit moduloidaan symboleiksi. Lähetettävät symbolit on ryhmitelty annetun mittaisiin lähetyslohkoihin, esimerkiksi neljän symbolin mittaisiin. Kooderi 308 suorittaa symboleille keksinnön mukaisen menetelmän mukaisia operaatioita, kuten esimerkiksi toistamista, konjugointia, nollaamista, negaation muodostamista, painokertoimella kertomista ja symbolien yhteenlaskua. Kanavasymbolien muodostuksessa kooderi 308 käyttää lohkokoodia, joka määrittelee modulaattorista 304 luettujen symbolien ja radiokanavalle lähetettävien kanavasymbolien välisen yhteyden. Lohkokoodiin kuuluu  $N \times M$  ka-
- 20
- 25
- 30
- 35

- navasymbolia, missä N ja M ovat positiivisia kokonaislukuja, N tarkoittaen lähetysantennireittien lukumäärää, ja M lohkokoodin viivettä. Keksinnöllisen ratkaisun mukaisesti kerrotaan ainakin kaksi symbolia nollasta poikkeavilla painokertoimilla siten, että kyseisten painokertoimien jakosuhte ei kuulu arvokoukkuun  $\pm 1, \pm j$ . Eräässä edullisessa suoritusmuodossa painokertoimella kerrottu symboli lasketaan yhteen ainakin yhden muun symbolin kanssa kanavasymbolin muodostamiseksi, joista muista symboleista nolla tai useampi symbolia on kerrottu painokertoimella ensimmäisen symbolin tapaan.

- Kooderi 308 on yhteydessä lähetysantenneihin 314-318 radiotaajuusosien 312 välityksellä. Esimerkiksi kuvion 3 tapauksessa kanavasymbolit 310 viedään radiotaajuusosien 312 kautta lähetettäväksi kolmella antennilla 314-318. Kaksi tai useampi lähetysantennireittiä voidaan aikaansaada kahden tai useamman antennin avulla tai myös kahden tai useamman antennikeilan avulla, jotka puolestaan on aikaasaatu käyttäen vähintään kahta antennia ja sopivaa vaiheistusta tai kompleksista painotusta. Keksintö ei ole rajoittunut siihen, millaisia tiedonsiirtoresursseja käyttäen kanavasymbolit lähetetään radioyhteydellä, vaan tiedonsiirtoresurssit voivat muodostua useista aikaväleistä, eri hajotuskoodeista tai eri taajuuksista.

- Keksintöä selostetaan seuraavaksi N:lle antennille suunnitellun epäortogonaalisen lohkokoodin avulla, joka lähettää M:ssä symbolijaksossa K symbolia, missä K on enemmän kuin M kertaa yhtälön (2) sallima maksimaalinen ortogonaalinen koodaussuhde. Koodimatriisilta vaaditaan symbolikohtainen täysi diversiteetti, jota on kuvattu yhtälöillä (8)-(9). Tämä tarkoittaa sitä, että koodi antaa täyden N-kertaisen diversiteettisuojaan yhdessä symbolissa tehtäviä bittivirheitä vastaan, mitä voidaan pitää perusedellytyksenä sille, että koodi antaa edes likipitään täyden diversiteettisuojaan.

- Koodaus- ja modulointimenetelmät voidaan katsoa pisteiden valinnaksi jossain pisteavaruudessa. Riippuen käytettävästä menetelmästä ja kanavista, aina on olemassa aakkoston geometrian määrittelevä metriikka. Toiset aakkoston pisteet ovat lähempänä toisiaan kuin toiset. Suorituskyky riippuu merkittävästi lähimpien naapuripisteiden välisistä etäisyyksistä. Optimaalisesti pisteet ovat samanarvoisessa asemassa, jolloin etäisyyden lähimpiin naapureihin ei tulisi riippua valituista pisteistä. Tätä kutsutaan homogeenisuusperiaatteeksi. Homogeenisuusperiaatteesta seuraa että lohkokoodilta voidaan edellyttää jäljetöntä epäortogonaalisuutta. Edellä kuvatun yhden symbolin di-

versiteettivaatimuksen täyttävän lohkokoodin Hermiittinen neliö voidaan kuvata yhtälöllä (11).

$$C^H C = \sum_{k=1}^K |z_k|^2 I + X \quad (11)$$

5 , jossa

$$X = \sum_{i < k} C_i^H C_k + C_k^H C_i \quad (12)$$

10 Edulliselta koodimatriisilta vaaditaan nyt, että yhtälössä (12) kuvattu epäortogonaalisuusmatriisi  $X$  on jäljetön (13).

$$\text{Tr } X = 0. \quad (13)$$

15 Edelläkuvattua voidaan perustella seuraavasti. Matriisin  $X$  muodosta on selvää, että kyseessä on Hermiittinen matriisi, jolloin sen diagonaali-elementit ovat reaalisia. Koska  $X$  on bilineaarinen kombinaatio matriiseista  $C_k$ , jotka ovat lineaarisia symboleiden  $z_k$  suhteen, reaalisten  $X$ :n diagonaaliarvojen täytyy olla jotain reaalisia lineaarikombinaatioita seuraavista:  $\text{Re}[z_k z_l]$ ,  $\text{Re}[z_k z_l^*]$ ,  $\text{Im}[z_k z_l]$ ,  $\text{Im}[z_k z_l^*]$ .

20 Lohkokoodien suorituskyky riippuu merkittävästi neliöidyn koodisanojen erotusmatriisin (5) ominaisuuksista. Matriisin  $H_{ce}$  jälki on symbolipisteistöjen  $C_e$  ja  $C_c$  välinen Euklidinen etäisyys. Lineaarisesti koodatulle koodille koodisanojen erotusmatriisit (6) noudattavat koodimatriisien itsensä täyttämät yhtälöt (11,12), jossa symbolit  $z_k$  on korvattu symbolierotuksilla

$$25 \quad \Delta_k = z_k^{(c)} - z_k^{(e)}. \quad (14)$$

Tässä  $z_k^{(c)}$  tarkoittaa lähetettyjä symboleja ja  $z_k^{(e)}$  mahdollisesti virheellisesti vastaanotettuja symboleja. Näin koodisanojen erotusmatriisi noudattaa muotoa (14), jolloin neliöity matriisi  $H_{ce}$  on muotoa (15).

$$30 \quad H_{ce} = \sum_{k=1}^K |\Delta_k|^2 I + X(\Delta_k) \quad (15)$$

Matriisin  $H_{ce}$  jäljellä on kaksi osaa,  $N \sum_{k=1}^K |\Delta_k|^2$  ensimmäisestä termistä ja  $\text{Tr}(X(\Delta_k))$ . Jälkimmäinen on lineaarikombinaatio seuraavista:  $\text{Re}[\Delta_k \Delta_l]$ ,  $\text{Re}[\Delta_k \Delta_l^*]$ ,  $\text{Im}[\Delta_k \Delta_l]$ ,  $\text{Im}[\Delta_k \Delta_l^*]$ . Nyt jos  $X$ :llä on ei-häviävä jälki, tarkoittaa se sitä, että Euklidinen etäisyys pisteistöjen välillä riippuu symboleista. Näinollen modulaatiopisteet eivät ole homogeenisesti sijoitetut koodiavaruuteen, joten koodi ei selvästikään ole homogeeninen. Lohkokoodi ei silloin selvästikään voi olla optimaalinen. On siis edullista vaatia, että  $X$  on jäljetön.

Keskitytään nyt kuvaamaan edullisia toteutusmuotoja kun  $N=4$ ,  $M=4$  ja  $K=4$ , eli koodaussuhde on 1. Kyseisessä edullisessa toteutusmuodossa vaaditaan symbolitason homogeenisuutta, eli että kaikki symbolit ovat koodimatriisissa keskenään samanarvoisessa asemassa. Edelleen, edullisessa toteutusmuodossa koodimatriisilla on myös maksimaalinen jäännösortogonaalisuus. Näiden vaatimusten mukaisessa neljän antennin 2+2 toteutusmuodossa kaksi symbolia  $z_1$  ja  $z_2$  on koodattu keskenään pareittain ortogonaalisesti ja jäljellejäävät kaksi symbolia  $z_3$  ja  $z_4$  vastaavasti pareittain ortogonaalisesti keskenään. Modulointimenetelmäksi otetaan esimerkiksi QPSK. Keksinnöllisissä toteutusmuodoissa matriisit  $U$  ja  $V$  on valittu siten että koodilla on täysi diversiteetti, toisin kuin tunnetun tekniikan mukaisessa 2+2 koodissa joka on yhtälön (3) mukainen.

Yhtälön (10) mukaiset koodimatriisit ovat tässä edullisessa toteutusmuodossa yhtälön (16) mukaisia,

$$C = \begin{bmatrix} A & 0 \\ 0 & A \end{bmatrix} + U \begin{bmatrix} B & 0 \\ 0 & B \end{bmatrix} V \quad (16)$$

, jossa  $A$  ja  $B$  ovat Alamoutin matriisin muotoa olevia ortogonaalisia 2\*2 matriiseja.  $0$  on 2\*2 nollamatriisi ja  $U$  ja  $V$  ovat unitaarisia 4x4 matriiseja, kuitenkin siten, että ainakin yksi  $U$ :n tai  $V$ :n käsittämä matriisielementti on erisuuri kuin  $0$ ,  $\pm 1$  ja  $\pm j$ . Keskitytään esimerkinomaisesti tapaukseen, jossa matriisi  $V$  on 4x4 yksikkömatriisi.

Edullisessa suoritusmuodossa jäljetön epäortogonaalisuus voidaan saavuttaa esimerkiksi asettamalla

$$U = \begin{bmatrix} qW & pW \\ pW & -qW \end{bmatrix} \quad (17)$$

, jossa  $W$  on unitaarinen  $2 \times 2$  matriisi, jonka determinantti on 1 ja edelleen  $q$  ja  $p$  ovat reaalityyppisiä, jotka täyttävät ehdon

$$q^2 + p^2 = 1. \quad (18)$$

5

Koodit eri  $q$ :n arvoilla ovat täysin vastaavia keskenään ja koodeilla on samat koodisanojen neliöidyn erotusmatriisin ominaisarvot. Suorituskyvyn optimoimiseksi riittää tarkastella edellämainittujen kertoimien yhtä esimerkkiä asettamalla  $q=0$ , jolloin koodi saa muodon

10

$$C = \begin{bmatrix} A & WB \\ WB & A \end{bmatrix}. \quad (19)$$

Matriisin (19) muodosta voidaan muodostaa sekä tehotasapainotettu, että tehoepätasapainoinen lohkokoodi. Tehotasapainoisella koodilla tarkoitetaan tässä sitä, että kukin antenni lähettää vakioiteholla kaikkina ajanhetkinä, jos käytetään vakioitehoista modulaatiota kuten QPSK, kun taas tehoepätasapainoisessa koodissa lähetysteho ei ole vakio kaikkina ajanhetkinä. Tehotasapainoisessa lohkokoodissa edellytetään  $W$ :n olevan diagonaalimatriisi, esimerkiksi

20

$$W = \begin{bmatrix} e^{j\phi} & 0 \\ 0 & e^{j\phi} \end{bmatrix} \quad (20)$$

jossa  $\phi$  valitaan sopivasti siten, että suorituskyky optimoituu.  $W$  on edellä unitaarinen ja sen determinantti on 1. Tällöin koodimatriisi on yhtälön (3) muotoa, paitsi että symbolit  $z_3$  ja  $z_4$  on kerrottu vaihekertoimella  $e^{j\phi}$ . Jokainen  $\phi \neq 0$  tekee koodista keksinnön mukaisen, epäsingulaarisen täyden diversiteetin koodin. Toinen tapa tulkita nämä keksinnölliset ratkaisut on ajatella, että valitaan yhtälön (3) mukaisessa koodissa symbolien  $z_1$  ja  $z_2$  modulointipisteet joukosta  $\{\pm 1, \pm j\}$ , kun taas symbolit  $z_3$  ja  $z_4$  valitaan vaihekiekkieretystä pisteistöstä  $e^{j\phi} \{1, j, -1, -j\}$ , missä jokainen  $\phi \neq 0$  tekee koodista keksinnön mukaisen, epäsingulaarisen täyden diversiteetin koodin. Osittain tehoepätasapainoisessa lohkokoodissa matriisi  $W$  voidaan valita olevaksi yleinen unitaarinen  $2 \times 2$  matriisi, jonka determinantti on 1. Nämä ovat muotoa

$$W = \begin{bmatrix} \alpha & \beta \\ -\beta^* & \alpha^* \end{bmatrix}, \quad (21)$$

jossa  $\alpha$  ja  $\beta$  kuuluvat kompleksilukujen joukkoon ja niiden itseisarvojen neliöiden summa on 1. Yhdistämällä edellä kuvattu  $W$  kaavoissa (19) esitettyyn Alamoutin lohkoon  $B$

$$B = \begin{bmatrix} z_3 & z_4 \\ -z_4^* & z_3^* \end{bmatrix}, \quad (22)$$

koodimatriisi voidaan esittää pseudosymbolien avulla

$$\begin{aligned} \tilde{z}_3 &= e^{j\phi} (\alpha z_3 - \beta z_4^*) \\ \tilde{z}_4 &= e^{j\phi} (\alpha z_4 - \beta z_3^*) \end{aligned} \quad (23)$$

Tällöin koodimatriisi voidaan esittää muodossa

$$C = \begin{bmatrix} A & \tilde{B} \\ \tilde{B} & A \end{bmatrix}, \quad (24)$$

, jossa

$$\tilde{B} = \begin{bmatrix} \tilde{z}_3 & \tilde{z}_4 \\ -\tilde{z}_4^* & \tilde{z}_3^* \end{bmatrix}, \quad (25)$$

Keksinnön mukaisissa koodimatriiseissa joko  $\alpha$  tai  $\beta$  tai kumpikin on erisuuri kuin 0,  $\pm 1$  ja  $\pm j$ . Tehoepätasapainoisissa toteutusmuodoissa sekä  $\alpha$  että  $\beta$  ovat nollasta poikkeavia. Epäortogonaalisuusmatriisi on nyt

$$X = 2\text{Re}[z_1 \tilde{z}_3^* + z_2 \tilde{z}_4^*] \begin{bmatrix} 0 & I_2 \\ I_2 & 0 \end{bmatrix} \quad (26)$$

, jossa  $I_2$  on  $2 \times 2$  yksikkömatriisi, ja se on selvästi jäljetön.

Suurella signaalikohinasuhteella yhtälön (5) mukaisten koodimatriisien erotusmatriisien neliöiden  $H_{ce}$  ominaisarvot määrittelevät yksikäsitteisesti

- koodin suorituskyvyn. Tärkein erotusmatriisien  $H_{ce}$  ominaisuus on kääntyvyys, eli että kaikki ominaisarvot ovat nollasta poikkeavia. Tällöin koodi saavuttaa täyden diversiteetin. Tämä kriteeri on avaruus-aika koodien ns. astekriteeri (rank criterion), nimittäin että kaikilla koodimatriisipareilla  $C_c$  ja  $C_e$  erotusmatriisin neliö  $H_{ce}$  on maksimaalista astetta. Tämän keksinnön mukaiset edulliset toteutusmuodot, esimerkiksi yhtälön (16) mukaiset, joissa  $U$  ja  $V$  ovat keksinnön mukaisia, toteuttavat astekriteerin; mikään koodisanojen erotusmatriisin neliö  $H_{ce}$  ei ole singulaarinen, ja koodit antavat täyden diversiteetin.

- Kun matriisien  $H_{ce}$  asteet on maksimoitu, voidaan seuraavaksi maksimoida niiden ominaisarvojen jakauma siten että koodin suorituskyky on mahdollisimman hyvä. Suurilla signaalikohinasuhteilla tämä saadaan aikaan maksimoimalla matriisien  $H_{ce}$  determinantit. Avaruus-aikakoodien ns. determinanttikriteerin mukaan pitää maksimoida pienin mahdollinen  $H_{ce}$ :n determinantti, kun otetaan huomioon kaikki koodimatriisiparit  $C_c$  ja  $C_e$ . Tämä on ns. MAX MIN DET kriteeri. Keksinnön edullisissa toteutusmuodoissa voidaan nyt esimerkiksi kulma  $\phi$  yhtälössä (20), tai tehotasapainottomissa toteutusmuodoissa kompleksiluvut  $\alpha$  ja  $\beta$  yhtälössä (21) valita MAX MIN DET kriteerin mukaisiksi.

- Jos toimitaan pienemmällä signaalikohinasuhteella, determinanttikriteerin sijaan voidaan minimoida esimerkiksi bittivirhesuhde annetun muotoilla koodimatriiseilla.

- Neljän antennin lohkokoodin erotusmatriisin neliön  $H_{ce}$  ominaisarvot ja siten myös  $H_{ce}$ :n determinantti ja bittivirhesuhde voidaan laskea tarkasti. Ominaisarvot voidaan laskea  $H_{ce}$ :n ensimmäisen, toisen, kolmannen ja neljännen potenssin jäljistä. Yhtälön (16) mukaisten edullisten toteutusmuotojen mukaisille koodimatriiseille näin saatavat invariantit  $t_1$ - $t_4$  on esitetty yhtälöissä (27). Näistä muodostettu yhtälön (5) mukaisen matriisin  $H_{ce}$  ominaisarvot on esitetty yhtälöissä (28) ja determinantti on esitetty yhtälöllä (29).

$$t_1 = \sum |\Delta_i|^2 \quad (27)$$

$$t_2 = 8 (\operatorname{Re} [\Delta_1 \Delta_3^* + \Delta_2 \Delta_4^*])^2 \quad (27')$$

$$t_3 = 0 \quad (27'')$$

$$t_4 = \frac{1}{4} t_2^2 \quad (27''')$$



$$e_1 = e_2 = t_1 + \sqrt{\frac{t_2}{2}} \quad (28)$$

$$e_3 = e_4 = t_1 - \sqrt{\frac{t_2}{2}} \quad (28'')$$

$$\det[H] = \left(t_1^2 - \frac{t_2}{2}\right)^2 \quad (29)$$

5 Edellisissä  $\Delta_i = z_i^c - z_i^e$  ovat symbolien erotuksia. Yhtälön (22) mukaisessa tehoepätasapainoisessa tapauksessa  $\Delta_3$  ja  $\Delta_4$  on tulkittava pseudosymbolien  $\tilde{z}_3$  ja  $\tilde{z}_4$  erotuksiksi. Yhtälöstä (29) käy selville, että symbolierotusparien  $\Delta_1$ ,  $\Delta_3$  ja  $\Delta_2$ ,  $\Delta_4$  determinantit voi maksimoida erikseen. Jos  $\Delta_2 = \Delta_4 = 0$ , saadaan

10

$$\det[H] = \left|\Delta_1^2 - \Delta_3^2\right|^4. \quad (30)$$

Astekriteerin (rank criterion) mukaan valitaan modulointipisteistöt siten, että determinantti ei ole koskaan nolla. Determinantti on nolla vain jos  
15  $\Delta_1 = \Delta_3$ .

Täten on selvää, että modulointipisteistöt symboleille  $z_1$  ja  $z_3$  valitaan siten että niissä ei ole päällekkäisyyksiä. Tämä saadaan aikaan esimerkiksi valitsemalla pisteistöt eri vaihetekijällä  $\phi$ , kuten yhtälöissä (19,20) kuvatuissa edullisissa toteutusmuodoissa. Esimerkinomaisesti esitettävässä QPSK-modulaation tapauksessa tulokset eri optimoinneista on nähtävissä kuvioista 4A ja 4B. Kuviossa 4A graafisessa esityksessä 400 esitetään MAX MIN DET -menetelmällä etsitty optimaalinen vaihekierto  $\phi$ . QPSK:n MIN-DET osoittaa, että determinantti erälle kahden symbolin kahden bitin ja neljän bitin virheille häviää, kun  $\phi = 0, \pi/2$ . Näille arvoille ABBA-koodin diversiteetti on vain 2. Kuvioissa 4A ja 4B esitetyt optimaaliset vaihetekijät ovat kaukana näistä singulaariarvoista. Olennaista esillä olevan edullisen suoritusmuodon kannalta siis on, että yhden symbolin modulointiaakkosto on vaihekiekierretty pois esitetyistä singulaaripisteistä. MAX MIN DET -kriteeri saa optimiarvonsa vaihetekijällä

$$\phi = \frac{1}{2} \arccos[(2\sqrt{11} - 3)/10] \approx 0.191\pi \approx 34^\circ \quad (31)$$

- Yhtälössä (31) esitetyllä vaihetekijällä  $\phi$ , minimietäisyys pisteiden välillä neliöidyssä symbolierotusaakkostossa symboleille  $z_1$  ja  $z_3$  on maksimisaan kuvion 4B esityksen 410 mukaisesti. Esityksessä 412 käytetty vaihetekijä  $\phi \equiv \pi/4$ . Viitaten vielä kuvioon 4A determinantteja on tarkasteltu graafisessa esityksessä 402 esitettyjen kahden ja kolmen bitin virheiden ohella myös virhetapahtumien suhteellisen lukumäärän avulla graafisen esityksen 404 mukaisesti. Taustalla on ajatus, että mitä useampi kombinaatio voi johtaa tiettyyn ominaisarvojen joukkoon, sitä todennäköisempiä kyseisestä tapauksesta aiheutuvat bittivirheet ovat. Lisäksi voidaan ottaa huomioon se, että eri virhetapahtumissa aiheutuu eri määrä bittivirheitä. Näin olleen determinantin antama suojaus on jaettava bittivirheiden lukumäärällä ja virhetapausten suhteellisella lukumäärällä. Tämän kriteerin maksimi, MAX MIN DET/ERRS/FREQ saadaan vaihetekijällä  $\phi \approx \pi/5$ . Edellä kuvatut on esitetty vain esimerkinomaisina, ja myös muita kriteerejä optimaalisen vaihetekijän etsimiseksi voidaan käyttää.
- Esimerkiksi union bound -kriteerillä, jossa minimoidaan eri virhetapauksista aiheutuvien bittivirheiden lukumäärän union bound -raja, saadaan  $\phi \approx 0.183\pi$ . MAX MIN DET kriteeriä lukuun ottamatta muissa kriteereissä vastaanottoantennien lukumäärä saattaa vaikuttaa optimiin. Jos vastaanottoantenneja on esimerkiksi L kpl, olisi esimerkiksi MAX MIN DET/ERRS/FREQ kriteerissä maksimoitava determinantin L:s potenssi jaettuna bittivirheiden lukumäärällä ja virhetapahtuman suhteellisella lukumäärällä. Tässä on esitetty optimikiertokulmat yhdelle vastaanottoantennille. Kaikilla kriteereillä optimikiertokulma on lähellä arvoa  $\phi \approx 0.2\pi \approx 36^\circ$ . Kuvan 4 B mukaisesti koodin suorituskyky riippuu vain heikosti vaihekulman  $\phi$  arvosta optimiarvojen ympärillä;  $\phi$  voi vaihdella välillä  $25^\circ - 65^\circ$  ilman että koodin suorituskyky muuttuu paljonkaan. Eräässä suositussa toteutusmuodossa valitaan siten  $\phi = 45^\circ$ , mikä tekee laitteiston tekni-  
 25  
 30

- tämisen toteuttamisen helpommaksi. Tässä tapauksessa voidaan ajatella, että kaikki symbolit on otettu 8-PSK modulaatiopisteistöstä, siten että symbolit  $z_1$  ja  $z_2$  on otettu yhdestä 8-PSK:n QPSK alipisteistöstä, ja symbolit  $z_3$  ja  $z_4$  on otettu tämän alipisteistön komplementista.
- Toinen tapa varmistaa, että determinantti (29) ei koskaan häviä, on valita tehoepätasapainoinen toteutusmuoto (19, 21). Jos sekä  $\alpha$  että  $\beta$  ovat nollasta poikkeavia, symboleissa  $z_1$  ja yhtälön (23) pseudosymboleissa  $\tilde{z}_3$  tehtävät mahdolliset virheet eivät koskaan voi olla samat. Kompleksimuuttujat  $\alpha$  ja  $\beta$  W:ssä voidaan esittää kolmen Eulerin kulman avulla.
- 35

$$\begin{aligned}\alpha &= e^{i(\phi+\varphi)} \cos \theta \\ \beta &= e^{i(\phi-\varphi)} \sin \theta.\end{aligned}\tag{32}$$

Bittivirhesuhteen union bound -raja minimoituu valitsemalla

5

$$\begin{aligned}\phi &= \pi / 8 \\ \varphi &= \pi / 8 \\ \theta &= \pi / 5.\end{aligned}\tag{33}$$

10

On olemassa eräitä muitakin kulmia, jotka antavat saman suorituskyvyn, mutta niiden luetteleminen ei tässä ole olennaista.

15

On selvää, että esitetty menetelmä ei ole rajoittunut QPSK modulaatiomenetelmään. Esimerkiksi 16QAM modulaatiomenetelmälle laskettu MAX MIN DET saavutetaan vaihetekijällä  $\phi \approx 0.172\pi$ . Toinen 16QAM modulaatiomenetelmälle edullinen vaihekierto on  $\phi \approx \pi/4 \approx 45^\circ$  ympäristössä, joka jälleen on teknisesti helpompi toteuttaa kuin optimaalinen  $\phi \approx 0.172\pi$ .

20

Edellä kuvattiin yhden symbolin vaihekierto 2+2 muotoisen ABBA-koodin tapauksessa. Yhtälössä (34) on kuvattu muotoa 3+1 oleva epäortogonaalinen lohkokoodi, jossa symbolit  $z_1$ ,  $z_2$  ja  $z_3$  on koodattu keskenään ortogonaalisesti mutta symbolia  $z_4$  ei ole koodattu ortogonaalisesti minkään näistä kanssa.

$$(z_1, z_2, z_3, z_4) \rightarrow \begin{pmatrix} z_1 & z_2 & z_3 & z_4 \\ -z_2^* & z_1^* & z_4 & -z_3 \\ -z_3^* & -z_4^* & z_1 & z_2 \\ -z_4^* & z_3^* & -z_2^* & z_1^* \end{pmatrix}\tag{34}$$

25

Kaavassa (34) esiintyvä koodi ei siis ole symbolitasolla homogeeninen. Edullisesti koodimatriisissa (34) symbolien  $z_1$ ,  $z_2$  ja  $z_3$  modulointipisteet kuuluvat arvojoukkoon  $\{+/-1, +/-j\}$ . Symbolin  $z_4$  optimaaliset modulaatiopisteet riippuvat tavoitellusta SNR:stä, kun bittivirhesuhdetta minimoidaan. Minimoidulla bittivirheen union bound -rajaa on todettu että optimaalinen vaihesiirtymä symbolille  $z_4$  ja  $\pm 29$  astetta keskimääräisellä signaalihäiriösuhteella 10dB. Käytännössä symbolin  $z_4$  aakkoston vaihesiirtymä voidaan valita vapaasti 25 asteen ja 65 asteen väliltä ilman merkittävää vaikutusta suorituskykyyn.

30

Simulaatioissa saatujen tulosten perusteella optimoitu 2+2 epäortogonaalinen koodi on aina parempi bittivirheen minimoinnin suhteen kuin kaavassa (3) esitetty tunnettu ABBA-koodi. Kuviossa 5 on esitetty esimerkinomaisesti yksi simulaatiotulos, jossa ABBA-koodia 502, optimoitua tehotasapainotettua 504, ja optimoitua tehoepätasapainotonta 506 koodia on verrattu keskenään. Kuviossa pystyakselin bittivirhesuhde on esitetty vaaka-akselin signaalihäiriösuhteen funktiona. Kuten kuviosta nähdään, paras tulos saavutetaan tehoepätasapainoisella koodilla, mutta myös tehotasapainotettu keksinnön mukainen koodi tuottaa merkittävästi paremmat tulokset kuin ABBA-koodi, varsinkin suurilla signaalihäiriötasoilla. Optimoitu symbolitasolla epähomogeeninen 3+1 epäortogonaalinen koodi on parempi kuin mainittu ABBA-koodi signaalihäiriösuhteilla  $>6,5$  dB.

Tarkastellaan vielä kuviossa 3 esitettyä vastaanotinta. Keksinnön mukaisella lähettimellä lähetetään siis signaali 320 kahta tai useampaa antennia, kuviossa kolmea antennia 314-318 käyttäen. Signaali 320 vastaanotetaan vastaanottimessa 302 antennilla 322 ja viedään radiotaajuusosille 324. Vastaanottimen antennien lukumäärällä ei tässä keksinnön kannalta ole merkitystä. Radiotaajuusosissa 324 signaali 320 muunnetaan väli- tai kantataajuudelle. Muunnettu signaali viedään kanavaestimaattorille 326, jossa muodostetaan estimaatit kanavalle, jonka läpi signaali on kulkenut. Estimaatit voidaan muodostaa esimerkiksi signaalin sisältämien ennalta tunnettujen bittien avulla, kuten pilottisignaalin tai opetusjakson avulla. Signaali viedään radiotaajuusosilta dekooderipankille 328, joka käsittää joukon dekooderiyksikköjä, jotka purkavat lähetyspäässä kooderissa 308 suoritettua koodauksen. Koska radio-  
teitse välitetty signaali on usein edennyt useampaa kuin yhtä reittiä lähtetimen ja vastaanottimen välillä, käsittää vastaanotettu signaali useita monitiekomponentteja. Kukin dekooderiyksikkö käsittelee yhtä vastaanotettua signaalikomponenttia. Dekooderiyksiköissä vastaanotetaan eri aikaväleissä, taajuuksilla tai hajotuskoodeilla lähetetyt symbolit, tyypillisesti varastoidaan ne tilapäisesti puskurimuistiin ja muodostetaan kanavaestimaattien avulla estimaatit alkuperäisiksi lohkon symboleiksi. Dekooderiyksiköistä dekodatut symbolit viedään yhdistelijälle 330, jossa eri polkujen signaalit yhdistetään. Yhdistelijä voidaan toteuttaa esimerkiksi rake-tekniikalla, jossa on käytetty maksimisuhdeyhdistelytekniikkaa. Kanavaestimaattorilta 326 viedään tieto estimoidusta kanavasta dekooderiyksiköille ja yhdistelijälle. Kanavaestimaattori ja radiotaajuusosat voidaan toteuttaa tunnetuin menetelmin.

- Yhdistelijältä signaali viedään ilmaisimelle, jossa suoritetaan symbolien ilmaisu tunnettuja ilmaisumenetelmiä käyttäen. Voidaan esimerkiksi laskea yhdisteltyjen symboliestimaattien euklidinen etäisyys mahdollisista symbolitiloista tai määrittää vastaanotettujen symbolien tai bittien a posteriori todennäköisyydet. Jälkimmäisessä tapauksessa tarvitaan tietoa kanavasta, joka
- 5 tieto saadaan kanavaestimaattorilta. Ilmaisimelta signaali viedään kanavadekooderille ja edelleen vastaanottimen muihin osiin. Ylläolevasta kuvauksesta puuttuu sekä lähettimessä että vastaanottimessa toteutettu symboli- tai bittilomittelu ja lomittelun purku, sekä mahdollinen kanavakoodaus. Nämä voidaan
- 10 haluttaessa toteuttaa tunnetuilla menetelmillä. Edellä on kuvattu vain eräs esimerkki mahdollisesta vastaanottimesta. Esimerkiksi kanavaestimaattien laskenta ja käyttö voidaan toteuttaa lukuisilla muilla tavoilla kuten alan ammattimiehelle on selvää.

- Keksinnön mukaiset toimenpiteet suorittavat toiminnot kooderissa
- 15 ja muissa lähettimessä ja järjestelyyn kuuluvissa laiteosissa toteutetaan sekä lähetinpäässä että vastaanotinpäässä edullisesti ohjelmallisesti prosessorin ja sopivan ohjelmiston avulla. Toiminnot voidaan toteuttaa myös esimerkiksi erillisillä komponenteilla tai piireillä.

- Vaikka keksintöä on edellä selostettu viitaten oheisten piirustusten
- 20 mukaiseen esimerkkiin, on selvää, ettei keksintö ole rajoittunut siihen, vaan sitä voidaan muunnella monin tavoin oheisten patenttivaatimusten esittämän keksinnöllisen ajatuksen puitteissa.

### Patenttivaatimukset

1. Menetelmä digitaalisten symbolien lähettämiseksi, jossa menetelmässä luetaan lähettimessä ainakin kaksi samaan lähetyslohkoon kuuluvaa symbolia, t u n n e t t u siitä, että:

5 muodostetaan lähetyslohkoon kuuluvista symboleista kanavasymboleita käsittävä lohkokoodi suorittamalla kullekin symbolille ainakin yksi seuraavista operaatioista: toistaminen, konjugointi, painokertoimella kertominen, kahden tai useamman symbolin yhteenlasku, ja että kerrotaan ainakin yksi lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla ensimmäisellä painokertoimella ja ainakin yksi lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla  
10 toisella painokertoimella, ja että ensimmäisen painokertoimen ja toisen painokertoimen jakosuhde poikkeaa arvoista  $\pm 1$  ja  $\pm j$ ; ja

lähetetään muodostetut kanavasymbolit kahden tai useamman lähetysantennireitin kautta.

15 2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että lähetetään muodostetut kanavasymbolit kahta tai useampaa tiedonsiirtoresurssia hyväksikäyttäen.

3. Patenttivaatimuksen 2 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että tiedonsiirtoresurssit on muodostettu aika-, taajuus- tai koodijaolla.

20 4. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että lähetysantennireitit ovat kaksi tai useampi antennikeilaa, jotka on aikaansaatu kahta tai useampaa antennia käyttäen.

5. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että käytetään kullekin antennireitille kahta tai useampaa tiedonsiirtoresurssia ja että muodostetaan kunkin antennireitin kautta lähetettävät kanavasymbolit kertomalla ainakin yksi lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla ensimmäisellä painokertoimella ja ainakin yksi toinen lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla toisella painokertoimella, ja että ensimmäisen painokertoimen ja toisen painokertoimen jakosuhde poikkeaa arvoista  $\pm 1$  ja  
25  $\pm j$ .  
30

6. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että muodostetaan kutakin tiedonsiirtoresurssia käyttäen eri antennireitteihin lähetettävät kanavasymbolit siten, että kerrotaan tiedonsiirtoresurssia hyödyntävä, ainakin yksi lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla  
35 ensimmäisellä painokertoimella ja ainakin yksi toinen lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla toisella painokertoimella, ja että ensimmäisen

painokertoimen ja toisen painokertoimen jakosuhte poikkeaa arvoista  $\pm 1$  ja  $\pm j$ .

7. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että lohkokoodin koodaussuhde on suurempi kuin ortogonaalisuuden sallima  
5 koodaussuhde.

8. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että valitaan kanavasymbolit määrittelevä lohkokoodi siten, että lohkokoodilla on täysi diversiteetti.

9. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä,  
10 että kerrotaan ainakin yksi luettu symboli kertoimista  $\pm 1$  ja  $\pm j$  poikkeavalla painokertoimella.

10. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että muodostetaan lähetyslohkon kanavasymbolit käyttäen ainakin yhdelle lähetyslohkoon kuuluvalla symbolille vaihekiekrettyä modulointipisteistöä suhteessa toiseen lähetyslohkon symboliin.  
15

11. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että lohkokoodi on kunkin lähetyslohkoon kuuluvan symbolin osalta unitaarinen.

12. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä,  
20 että lohkokoodin Hermiittisestä neliöstä muodostettu epäortogonaalisuusmatriisi on jäljetön.

13. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että lohkokoodi on tehoepätasapainotettu.

14. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä,  
25 että lohkokoodi on tehoepätasapainoinen.

15. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että lohkokoodissa ainakin kaksi symbolia on koodattu keskenään ortogonaalisesti.

16. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä,  
30 että lähetyslohkoon kuuluu neljä symbolia, ja että kaksi ensimmäistä symbolia on koodattu ortogonaalisesti keskenään ja kaksi viimeistä symbolia on koodattu ortogonaalisesti keskenään.

17. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että muodostetaan luetuista symboleista kompleksiset kanavasymbolit lohkokoodin C avulla, joka on muotoa  
35

$$C = \sum_{k=1}^K C_k = \sum_{k=1}^K U_k \gamma_k V_k$$

, jossa  $k$  kuvaa symbolin indeksia,  $U_k$  on unitaarinen  $M \times M$  matriisi  $M$ :n tarkoittaessa lähetyksen viivettä ja  $V_k$  on unitaarinen  $N \times N$  matriisi  $N$  tarkoittaessa antennien lukumäärää, ja jossa  $\gamma_k$ :n jokainen päädiagonaalin matriisielementti on joko lähetettävä symboli  $z_k$  tai sen kompleksikonjugaatti, ja

- 5 joissa matriiseissa  $U_k$ ,  $V_k$  on ainakin yksi arvojoukon  $\{0, \pm 1, \pm j\}$  arvoista poikkeava elementti.

18. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että muodostetaan luetuista symboleista kompleksiset kanavasymbolit lohkokoodin  $C$  avulla, joka on muotoa

$$C = \begin{bmatrix} A & 0 \\ 0 & A \end{bmatrix} + U \begin{bmatrix} B & 0 \\ 0 & B \end{bmatrix} V,$$

- jossa  $A$  ja  $B$  ovat Alamoutin matriisin muotoa olevia ortogonaalisia  $2 \times 2$  matriiseja,  $0$  on  $2 \times 2$  nollamatriisi ja  $U$  ja  $V$  ovat yksikkömatriiseja siten, että ainakin yksi  $U$ :n tai  $V$ :n käsittämä matriisielementti on erisuuri kuin  $0$ ,  $+1$ ,  $-1$  ja  $-j$ .

19. Patenttivaatimuksen 18 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että ainakin toinen matriiseista  $U$ ,  $V$  on muotoa

$$\begin{bmatrix} qW & pW \\ pW & -qW \end{bmatrix}$$

- jossa  $W$  on  $2 \times 2$  unitaarinen matriisi, jonka determinantti on  $1$ , ja  $q$  ja  $p$  ovat reaalityyppisiä lukuja, jotka toteuttavat yhtälön

$$q^2 + p^2 = 1.$$

20. Patenttivaatimuksen 19 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että matriisi  $W$  on

$$\begin{bmatrix} e^{i\phi} & 0 \\ 0 & e^{-i\phi} \end{bmatrix}.$$

21. Patenttivaatimuksen 20 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että kulma  $\phi$  valitaan joukosta: noin  $34^\circ$ , noin  $45^\circ$ .

22. Patenttivaatimuksen 19 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että matriisi  $W$  on

$$\begin{bmatrix} \alpha & \beta \\ -\beta^* & \alpha^* \end{bmatrix}, \text{ jossa } \alpha \text{ ja } \beta \text{ kuuluvat kompleksilukujen joukkoon ja}$$

- 30 täyttävät ehdon

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1.$$



23. Patenttivaatimuksen 22 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että  $\alpha = \ell^{\frac{\pi}{4}} \cos \frac{\pi}{5}$  ja  $\beta = \sin \frac{\pi}{5}$ .

24. Järjestely digitaalisten symbolien lähettämiseksi, käsittäen kooderin (308) digitaalisten symbolien koodaamiseksi kanavasymboleiksi, ja kooderiin (308) yhteydessä olevan yhden tai useamman lähetysantennin (314-318) kanavasymbolien lähettämiseksi, tunnettu siitä, että:

kooderi (308) on sovitettu lukemaan ainakin kaksi samaan lähetyslohkoon kuuluvaa symbolia, ja muodostamaan koodauksen määrittelevän lohkokoodin avulla lähetyslohkoon kuuluvista symboleista kanavasymboleita suorittamalla kullekin symbolille ainakin yksi seuraavista operaatioista: toistaminen, konjugointi, painokertoimella kertominen, kahden tai useamman symbolin yhteenlasku, ja että kooderi (308) on sovitettu kertomaan ainakin yksi lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla ensimmäisellä painokertoimella ja ainakin yksi lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla toisella painokertoimella, joiden mainitun ensimmäisen painokertoimen ja mainitun toisen painokertoimen jakosuhte poikkeaa arvoista  $\pm 1$  ja  $\pm j$ ; ja joka

järjestely on sovitettu lähettämään muodostetut kanavasymbolit mainitun yhden tai useamman antennin avulla muodostetun kahden tai useamman lähetysantennireitin (314-318) kautta.

25. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, tunnettu siitä, että lähetetään muodostetut kanavasymbolit kahta tai useampaa tiedonsiirtoresurssia hyväksikäyttäen.

26. Patenttivaatimuksen 25 mukainen järjestely, tunnettu siitä, että tiedonsiirtoresurssit on muodostettu aika-, taajuus- tai koodijaolla.

27. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, tunnettu siitä, että lähetysantennireitit ovat kaksi tai useampi antennikeilaa, jotka on aikaansaatu kahta tai useampaa antennia käyttäen.

28. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, tunnettu siitä, että järjestely on sovitettu käyttämään kullekin antennireitille kahta tai useampaa tiedonsiirtoresurssia ja muodostamaan kunkin antennireitin kautta lähetettävät kanavasymbolit kertomalla ainakin yksi lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla ensimmäisellä painokertoimella ja ainakin yksi toinen lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla toisella painokertoimella, ja että ensimmäisen painokertoimen ja toisen painokertoimen jakosuhte poikkeaa arvoista  $\pm 1$  ja  $\pm j$ .

29. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, tunnettu siitä,

että järjestely on sovitettu muodostamaan kutakin tiedonsiirtoresurssia käyttäen eri antennireitteihin lähetettävät kanavasymbolit kertomalla tiedonsiirtoresurssia hyödyntävä, ainakin yksi lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla ensimmäisellä painokertoimella ja ainakin yksi toinen lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla toisella painokertoimella, ja että  
 5 ensimmäisen painokertoimen ja toisen painokertoimen jakosuhte poikkeaa arvoista  $\pm 1$  ja  $\pm j$ .

30. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä, että lohkokoodin koodaussuhde on suurempi kuin ortogonaalisuuden sallima  
 10 koodaussuhde.

31. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä, että lohkokoodilla on täysi diversiteetti.

32. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä, että kooderi on sovitettu kertomaan ainakin yhden luetun symbolin kertoimista  
 15  $\pm 1$  ja  $\pm j$  poikkeavalla painokertoimella.

33. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä, että järjestely on sovitettu lähettämään kunkin lähetyslohkoon kuuluvan symbolin radiotielle ainakin kahtena eri ajanhetkenä.

34. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä, että kooderi on sovitettu muodostamaan lähetyslohkon kanavasymbolit käyttäen ainakin yhdelle lähetyslohkoon kuuluvalla symbolille vaihekierrettyä modulointipisteistöä suhteessa toiseen lähetyslohkon symboliin.  
 20

35. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä, että lohkokoodi on kunkin lähetyslohkoon kuuluvan symbolin osalta unitaarinen.  
 25

36. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä, että lohkokoodin Hermiittisestä neliöstä muodostettu epäortogonaalisuusmatriisi on jäljetön.

37. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä, että lohkokoodi on tehoepätasapainotettu.  
 30

38. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä, että lohkokoodi on tehoepätasapainoinen.

39. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä, että lohkokoodissa ainakin kaksi symbolia on koodattu keskenään ortogonaalisesti.  
 35

40. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä, että lohkokoodi on neljän symbolin lähetykseen tarkoitettu lohkokoodi, jossa kaksi ensimmäistä symbolia on koodattu ortogonaalisesti keskenään ja kaksi viimeistä symbolia on koodattu ortogonaalisesti keskenään.

- 5 41. Patenttivaatimuksen 24 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä, että kooderi on sovitettu muodostamaan luetuista symboleista kompleksiset kanavasymbolit lohkokoodin C avulla, joka on muotoa

$$C = \sum_{k=1}^K C_k = \sum_{k=1}^K U_k \gamma_k V_k$$

- , jossa k kuvaa symbolin indeksia,  $U_k$  on unitaarinen  $M \times M$  matriisi  
10 M:n tarkoittaessa lähetyksen viivettä ja  $V_k$  on unitaarinen  $N \times N$  matriisi N tarkoittaessa antennien lukumäärää, ja jossa  $\gamma_k$ :n jokainen päädiagonaalin matriisielementti on joko lähetettävä symboli  $z_k$  tai sen kompleksikonjugaatti, ja joissa matriiseissa  $U_k$ ,  $V_k$  on ainakin yksi arvojoukon  $\{0, \pm 1, \pm j\}$  arvoista poikkeava elementti.

- 15 42. Patenttivaatimuksen 41 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä, että kooderi on sovitettu muodostamaan luetuista symboleista kompleksiset kanavasymbolit lohkokoodin C avulla, joka on muotoa

$$C = \begin{bmatrix} A & 0 \\ 0 & A \end{bmatrix} + U \begin{bmatrix} B & 0 \\ 0 & B \end{bmatrix} V,$$

- jossa A ja B ovat Alamoutin matriisin muotoa olevia ortogonaalisia  
20  $2 \times 2$  matriiseja, 0 on  $2 \times 2$  nollamatriisi ja U ja V ovat yksikkömatriiseja siten, että ainakin yksi U:n tai V:n käsittämä matriisielementti on erisuuri kuin 0, +1, -1 +j ja -j.

43. Patenttivaatimuksen 42 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä, että ainakin toinen matriiseista U, V on muotoa

25 
$$\begin{bmatrix} qW & pW \\ pW & -qW \end{bmatrix}$$

jossa W on  $2 \times 2$  unitaarinen matriisi, jonka determinantti on 1, ja q ja p ovat reaalityyppisiä lukuja, jotka toteuttavat yhtälön

$$q^2 + p^2 = 1.$$

44. Patenttivaatimuksen 43 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä,  
30 että matriisi W on

$$\begin{bmatrix} e^{i\phi} & 0 \\ 0 & e^{-i\phi} \end{bmatrix}.$$

45. Patenttivaatimuksen 44 mukainen järjestely, t u n n e t t u siitä,

että kulma  $\phi$  valitaan joukosta: noin  $34^\circ$ , noin  $45^\circ$ .

46. Patenttivaatimuksen 43 mukainen järjestely, tunnettu siitä, että matriisi  $W$  on

$$\begin{bmatrix} \alpha & \beta \\ -\beta^* & \alpha^* \end{bmatrix}, \text{ jossa } \alpha \text{ ja } \beta \text{ kuuluvat kompleksilukujen joukkoon ja}$$

5 täyttävät ehdon

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1.$$

47. Patenttivaatimuksen 46 mukainen järjestely, tunnettu siitä, että  $\alpha = \ell^{\frac{\pi}{4}} \cos \frac{\pi}{5}$  ja  $\beta = \sin \frac{\pi}{5}$ .

**(57) Tiivistelmä**

Järjestely digitaalisten symbolien koodaamiseksi ja lähettämiseksi ainakin kahden antennin (314-318) kautta. Kooderissa (308) luetaan ainakin kaksi samaan lähetyslohkoon kuuluvaa symbolia, ja muodostetaan lohkokoodin avulla lähetyslohkon symboleista kanavasymboleita. Kooderissa (308) kerrotaan ainakin yksi lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla ensimmäisellä painokertoimella ja ainakin yksi lähetyslohkoon kuuluva symboli nollasta poikkeavalla toisella painokertoimella, joiden painokertoimien välinen jakosuhde poikkeaa arvoista  $\pm 1$  ja  $\pm j$ . Lähetetään näin muodostetut kanavasymbolit radiotielle (320) antennien (314-318) kautta.

(Kuvio 3)

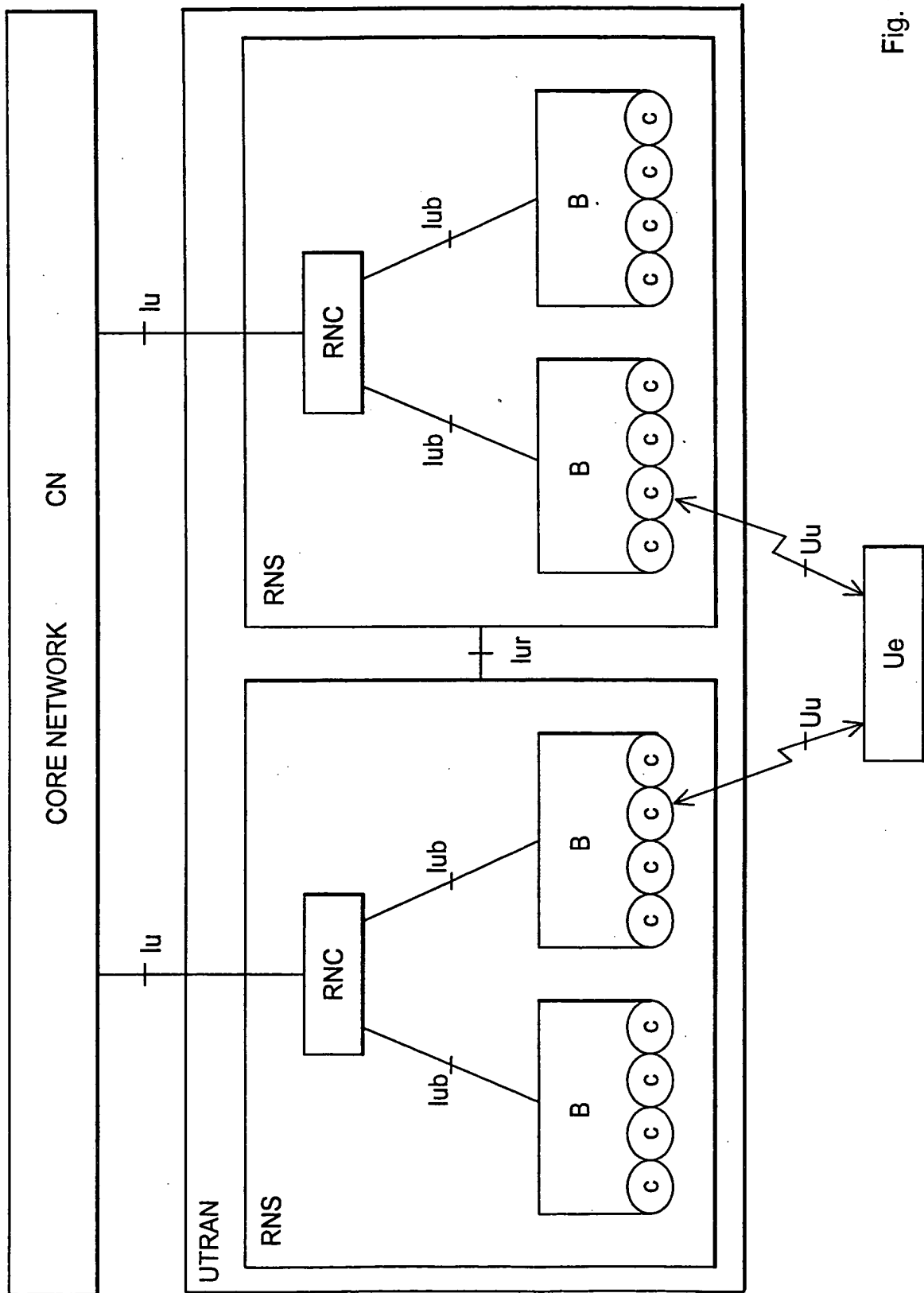


Fig. 1

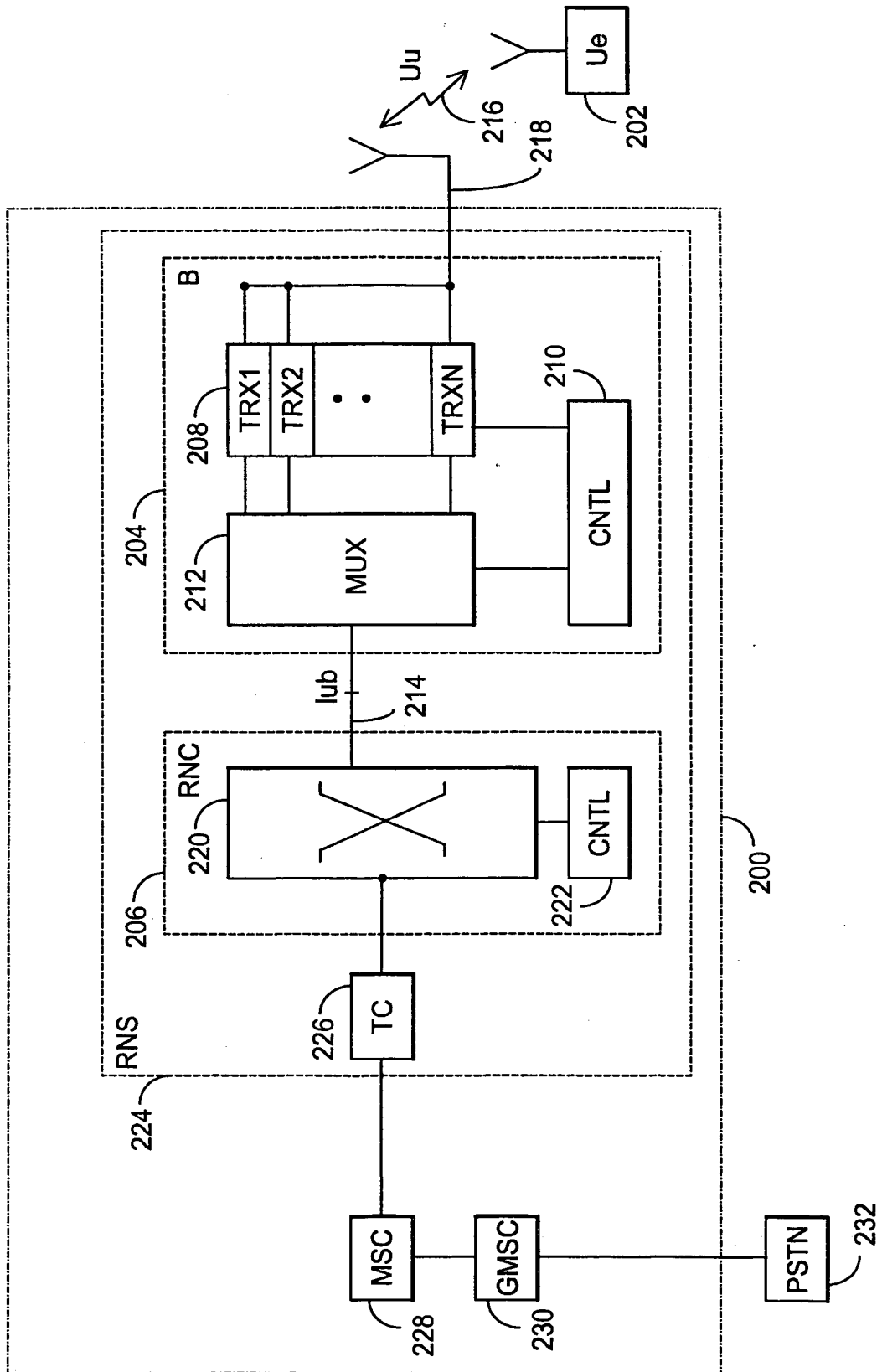


Fig. 2

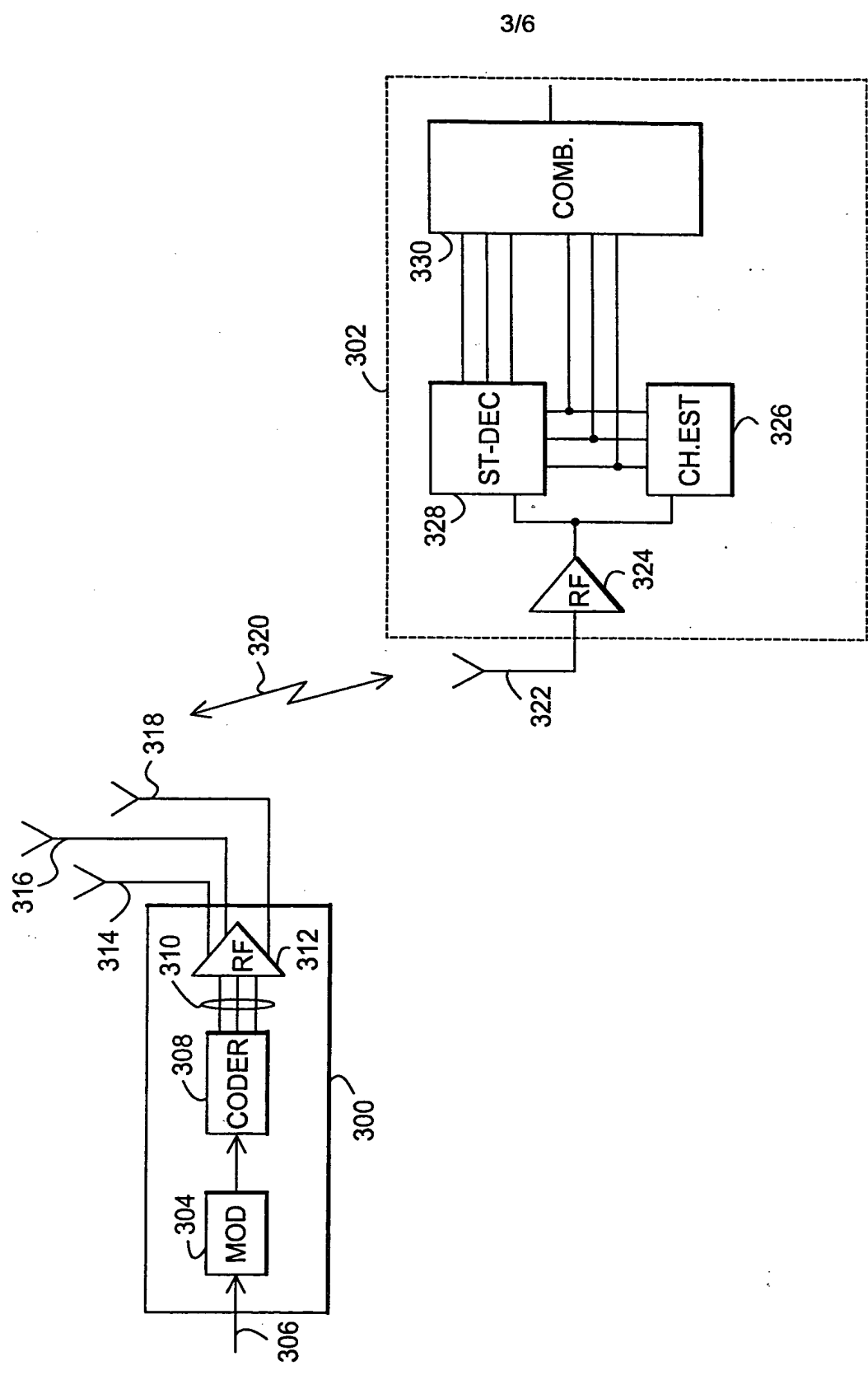


Fig. 3



4/6

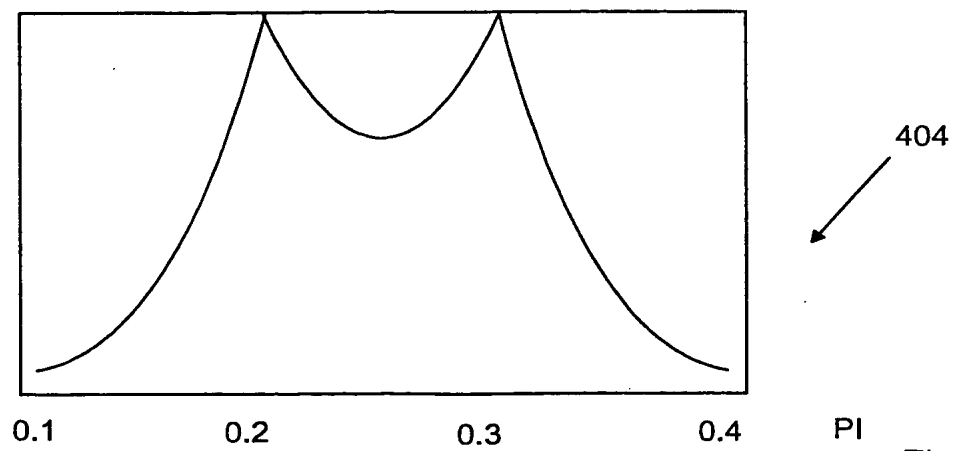
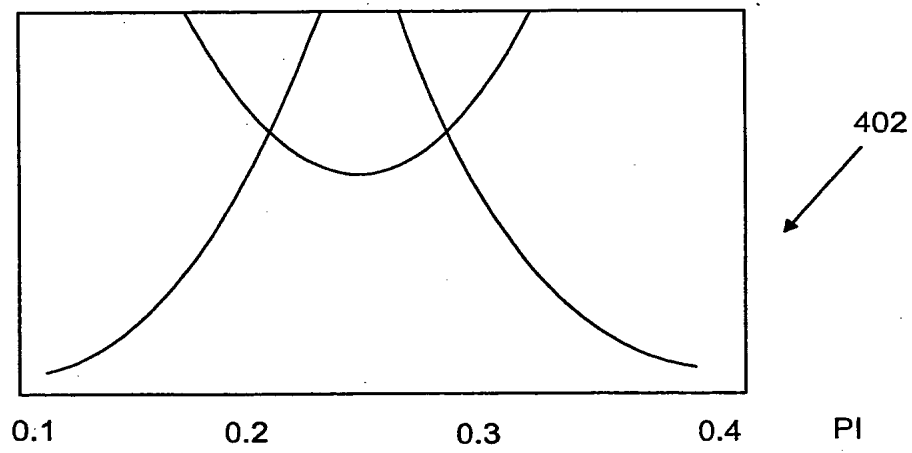
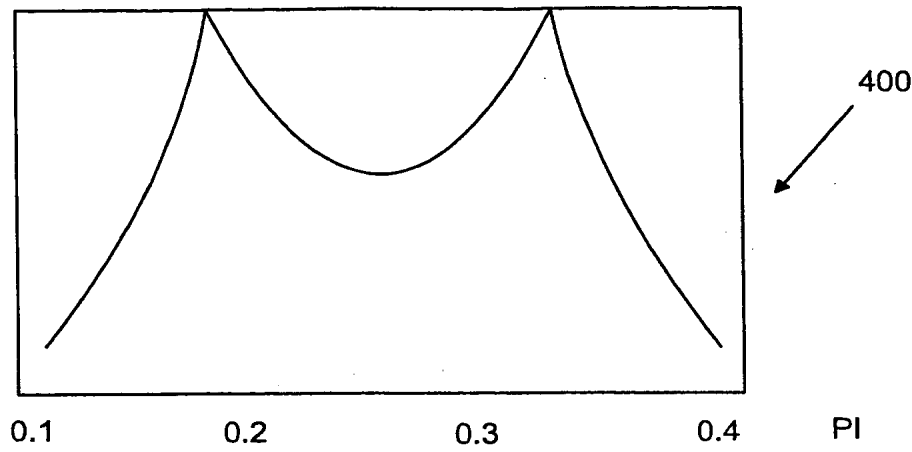


Fig. 4A

5/6

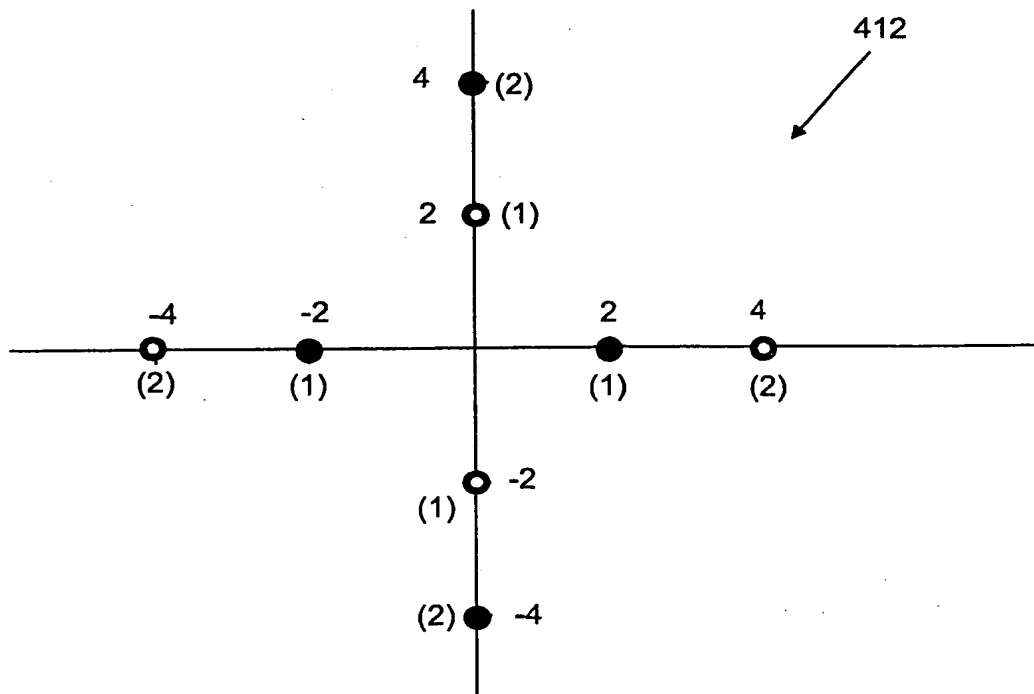
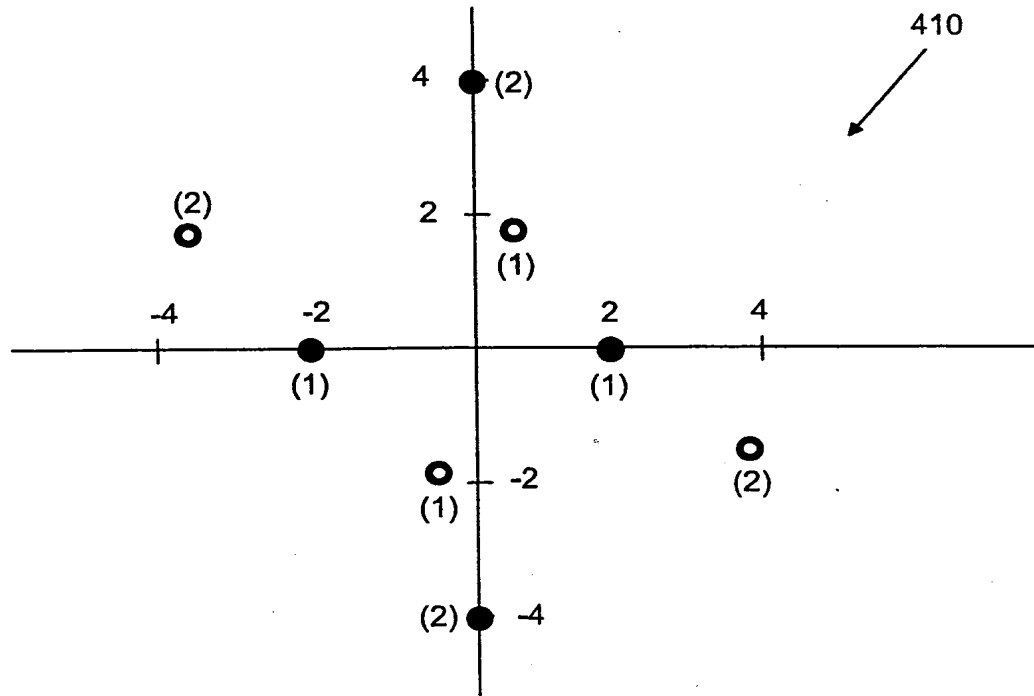


Fig. 4B

6/6

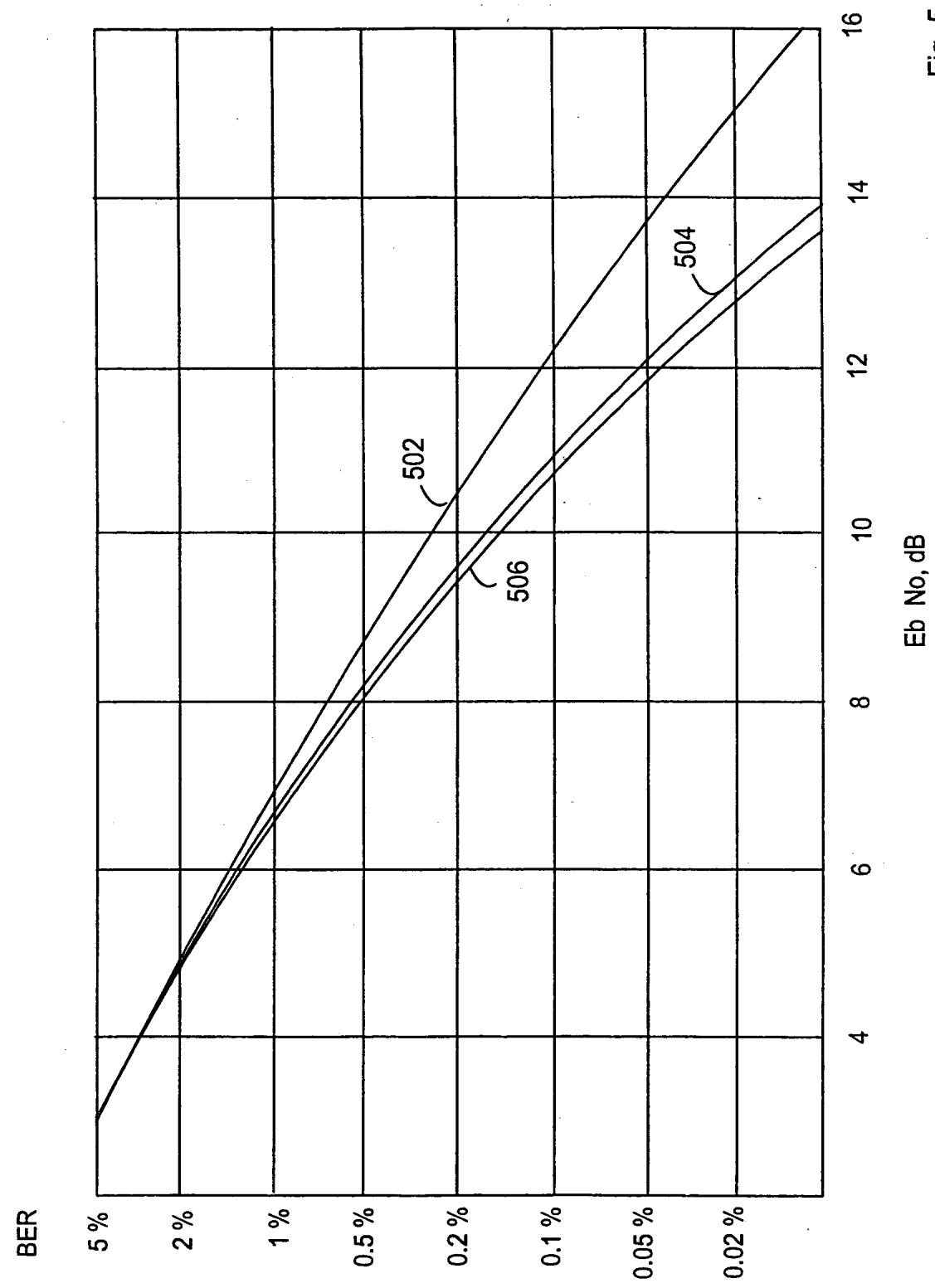


Fig. 5